

ANALISIS KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENGELASAN BAJA ST-60 BERDASARKAN VARIASI TEMPERATUR TEMPERING

Yayi Febdia Pradani¹, Yuliana Aziza², Muhammad Hudan Rahmat³

^{1,2,3}Universitas Islam Raden Rahmat Malang
yfebdiapradani@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui adanya pengaruh variasi temperatur tempering pada temperatur 250°C, 350°C, dan 500°C dengan holding time 30 menit menggunakan pendinginan udara terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada pengelasan baja St.60. Metode dalam penelitian ini menggunakan deskriptif kuantitatif. Sedangkan desain penelitiannya adalah penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Objek penelitian ini adalah baja karbon menengah St.60 yang kemudian diberi perlakuan yakni pengelasan kemudian tempering dengan variasi temperatur. Hasil penelitian rata-rata kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada temperatur tempering 500°C sebesar 680,495 MPa, pada temperatur 350°C sebesar 666,016 MPa, dan kekuatan tarik terendah diperoleh pada temperatur tempering 250°C sebesar 641,626 MPa. Sedangkan kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur tempering 500°C sebesar 284,87 Hv, pada temperatur 350°C sebesar 267,63 Hv, dan kekerasan terendah diperoleh pada temperatur tempering 250°C sebesar 259,111 Hv. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai kekuatan tarik dan kekerasan pada baja St.60 antara sebelum dan setelah mengalami proses tempering dengan variasi temperatur sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur tempering berpengaruh terhadap tingkat kekuatan tarik dan kekerasan pada pengelasan baja St.60. Tingkat kekuatan tarik dan kekerasan baja akan meningkat seiring bertambahnya temperature tempering pada pengelasan baja St.60..

Kata kunci: variasi temperatur, baja St.60, pengelasan, tempering

ABSTRACT

This research use for to know how at temperatures of 250°C, 350°C, and 500°C with a holding time of 30 minutes using air against the strength of tensile, defense and microstructure in the welding of steel St. 60. This research method uses descriptive quantitative. While the research design is experimental research conducted in the laboratory. The object of this research is the medium carbon steel St. 60 which was then named as welding then tempering with temperature variations. The results of the highest average tensile strength were obtained at 500°C tempering temperature of 680,495 MPa, at 350°C at 666,016 MPa, and can be recovered at 250°C tempering temperature of 641,626 MPa. While the highest temperature was obtained at 500°C tempering temperature of 284.87 Hv, at a temperature of 350°C at 267.63 Hv, and the lowest hardness was obtained at 250°C tempering temperature of 259,111 Hv. 60 before and after the hardening process with temperature variations can be used to determine the temperature hardening to the level of tensile strength and defense in steel welding St.60. The level of tensile strength and protection of steel will increase as the tempering temperature increases in welding steel St.60.

Keywords: temperature variations, Steel ST.60, welding, tempering

PENDAHULUAN

Berdasarkan info dari praktisi perkapalan, baja untuk bahan pembuat kerangka kapal yang telah dilas bersifat rapuh dan mudah retak. Oleh karena itu, baja tersebut haruslah diperbaiki sifat-sifat mekaniknya agar sesuai penggunaan yang diinginkan. Perbaikan sifat mekanik ini dapat dilakukan melalui perlakuan panas. Perbaikan sifat mekanik baja ini dilakukan agar hasil las mampu bertahan lebih lama, awet dan tepat sesuai fungsinya.

Daryanto (2006:22) mengemukakan bahwa baja dapat didefinisikan sebagai suatu campuran dari besi dan karbon, dimana unsur karbon (C) menjadi dasar campurannya, disamping itu, mengandung unsur campuran lainnya seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), dan mangan (Mn) yang jumlahnya dibatasi.

Baja St. 60 merupakan baja karbon sedang yang mengandung kadar karbon 0,3-0,6 % dan kandungan karbonnya memungkinkan baja tersebut untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas yang sesuai. Baja karbon sedang ini digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi, poros, sekrup dan alat presisi lainnya.

Pengelasan dengan las busur listrik ini merupakan pelelehan dengan busur listrik yang diperoleh dengan cara mendekatkan elektroda las ke benda kerja pada jarak beberapa milimeter, sehingga terjadi aliran arus listrik dari elektroda ke benda kerja karena adanya perbedaan tegangan. Suhu busur nyala bisa mencapai 5000°C, sehingga dapat melelehkan elektroda dan benda kerja untuk membentuk paduan (Sriwidharto, 2003:21).

Tempering adalah memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan dengan tujuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan mengurangi kekerasan. Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui tempering, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula, sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Proses temper terdiri dari pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis, disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil karena di sini sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat.

Pada penelitian sebelumnya oleh Wahyudi (2006), dengan variasi temperatur tempering 150°C, 225°C, dan 300°C menunjukkan bahwa struktur mikro yang terjadi akan tampak lebih halus seiring dengan kenaikan suhu tempering dan semakin tinggi suhu tempering yang dipakai maka hasil kekuatan tariknya akan semakin tinggi pula pada baja St. 42. Untuk mendukung hasil tersebut maka penelitian ini akan menggunakan baja St. 60 dengan variasi tempering 250°C, 350°C, dan 500°C. Dengan latar belakang di atas, maka diadakan suatu penelitian tentang proses perlakuan panas baja setelah pengelasan memvariasikan temperatur proses tempering dan meneliti pengaruhnya terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada baja St. 60.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian jenis eksperimental, untuk memperoleh deskripsi tentang pengaruh variasi temperatur *tempering* terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada pengelasan baja karbon rendah St. 60. Dalam menentukan perubahan struktur mikro, data yang telah didapat dianalisis menggunakan analisis deskriptif. Data yang telah diperoleh dari hasil pengujian kekuatan tarik dan kekerasan selama penelitian diisikan pada lembar observasi. Pada uji kekuatan tarik dan kekerasan menggunakan spesimen yang sama, terlebih dahulu dilakukan uji tarik kemudian uji kekerasan.

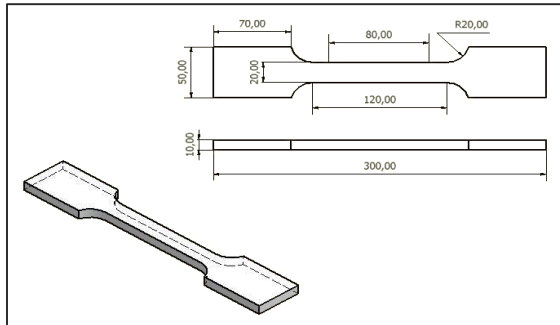
Instrumen penelitian yang digunakan adalah lembar observasi yang berisi data angka kekerasan dan kekuatan tarik pada baja St.60 yang telah mengalami proses tempering dengan variasi suhu 250°C, 350°C dan 500°C. Variasi temperature ini dipilih berdasarkan kelas suhu tempering, yaitu tempering suhu rendah, suhu menengah, dan suhu tinggi.

Objek penelitian yang dipakai adalah baja St. 60, yang memiliki ukuran setiap spesimen dengan panjang 300 mm, lebar 50 mm, dan tebal 10 mm, sehingga total semua spesimen adalah 12 buah dengan ukuran yang sama.

Standar yang digunakan dalam spesimen uji tarik adalah JIS Z 2201 yang mengatur tentang *test pieces for tensile test for metallic materials*. Tebal plat tidak berpengaruh terhadap data uji tarik.

Tabel 1. Rancangan Penelitian

No	Spesimen	Nilai Kekuatan Tarik			Nilai Kekerasan		
		1	2	3	4	5	6
1	<i>Raw Material</i>	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄		
2	<i>Tempering 250°C</i>	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅	X ₂₆
3	<i>Tempering 350°C</i>	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	X ₃₅	X ₃₆
4	<i>Tempering 500°C</i>	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₄	X ₄₅	X ₄₆



Gambar 1. Spesimen Uji Tarik Standart JIS Z 2201 no.13 point A pada Baja St. 60
(Sumber: Handbook of JIS Standart)

Adapun langkah pengambilan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembentukan spesimen
2. Pengelasan SMAW
3. Pelaksanaan perlakuan panas *Tempering*
4. Pengamatan struktur mikro
5. Pengujian kekerasan
6. Pengujian Tarik

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam perlakuan panas adalah sebagai berikut:

1. Benda kerja disiapkan dan kemudian dimasukkan dalam dapur listrik.
2. Dapur listrik distel menurut variasi temperatur tempering masing-masing pada 250°C, 350°C, dan 500°C dan ditahan (*holding time*) selama 30 menit. Sedangkan yang normal dibiarkan tanpa perlakuan panas.
3. Benda kerja dikeluarkan dari dapur listrik kemudian didinginkan di udara hingga mencapai suhu ruangan ± 2 jam 50 menit.

Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan mencatat data yang diperoleh dari penelitian pada lembar observasi.

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif, yaitu untuk mengetahui struktur mikro dari variasi tempering pada pengelasan baja St.60. Sedangkan untuk menguji hipotesis adanya pengaruh variasi temperatur tempering

terhadap tingkat kekerasan dan pengujian tarik baja St.60, digunakan analisis One Way Anova dengan taraf signifikansi 0,05 atau tingkat kepercayaan sebesar 95 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa angka dan pemaparan yang meliputi pengujian kekerasan, kekuatan tarik dan struktur mikro pada material baja St.60 yang telah ditempering.

Tanpa Perlakuan *Tempering* (Raw Material)

Dengan dilakukannya pengujian kekuatan tarik dan kekerasan, maka akan dihasilkan data nilai kekuatan tarik dan kekerasan untuk baja St. 60, sedangkan untuk struktur mikro dihasilkan data berupa foto struktur dengan perbesaran 400 kali. Adapun hasil dari pengujian tarik, kekerasan dan struktur mikro dari spesimen tanpa perlakuan *tempering* (raw material) adalah sebagai berikut.

Hasil Kekuatan Tarik Spesimen tanpa Perlakuan *Tempering*

Hasil pengujian kekuatan tarik dengan 3 spesimen St. 60 tanpa perlakuan menunjukkan rata-rata 583,648 MPa atau 59,515 kg/mm². Pada data ini spesimen tidak mendapat perlakuan *tempering* dan digunakan sebagai pembandingan terhadap spesimen dengan perlakuan *tempering*.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Tanpa Perlakuan *Tempering*

Spesimen	Nilai Kekuatan Tarik (M.Pa)
A ₁₁	621.442
A ₁₂	560.368
A ₁₃	569.133
Rata-rata	583.648

Nilai Kekerasan Spesimen Tanpa Perlakuan *Tempering*

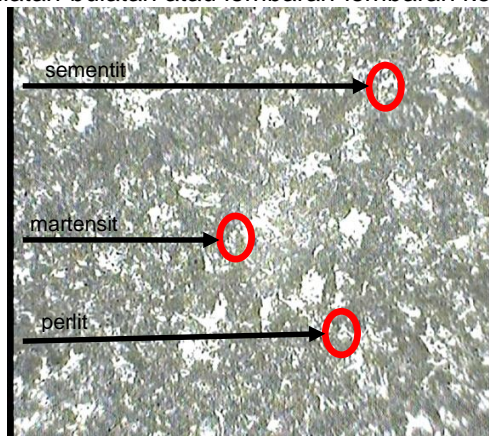
Dari tabel 3 diketahui bahwa nilai kekerasan rata-rata dari spesimen tanpa perlakuan *tempering* adalah 232,83 HVN.

Tabel 3. Nilai Kekerasan Spesimen Tanpa Perlakuan Tempering

Spesimen	Nilai Kekerasan (HVN)			Rata-rata
	1	2	3	
HVN A ₁₄	240,8	230,4	227,3	232,83

Struktur Mikro Spesimen Tanpa Perlakuan Tempering

Pada *raw material* daerah HAZ terlihat perlit dan sementit lebih mendominasi. Hal ini terjadi karena masih kurangnya temperatur panas yang dapat merubah struktur. Terlihat bahwa perlit berupa jarum-jarum berwarna hitam dan putih, struktur ini merupakan paduan dari ferit yang gelap dan sementit yang terang, kemudian terdapat pula martensit yang berupa bulatan-bulatan atau lembaran-lembaran kecil.

**Gambar 2. Struktur Mikro pada Raw Material dengan Perbesaran 400x****Spesimen Dengan Perlakuan Tempering 250°C**

Spesimen berikut mengalami proses *tempering* pada suhu 250°C. Spesimen di las dan didinginkan di udara kemudian mengalami perlakuan *tempering* dan yang terjadi adalah kekuatan dan kekerasannya meningkat dari *raw material*.

Nilai Kekuatan Tarik Spesimen dengan Perlakuan Tempering 250°C

Pada tabel 4, didapat hasil rata-rata bernilai 641,734 MPa atau 65,437 kg/mm². Pada perlakuan ini dihasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dari *raw material*. Kekuatan tarik terbesar dari perlakuan ini diperoleh dari spesimen X₂₂.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik dengan Perlakuan Tempering 250°C

Spesimen	Nilai Kekuatan Tarik (MPa)
X ₂₁	650.230
X ₂₂	657.345
X ₂₃	617.303
Rata-rata	641.734

Nilai Kekerasan Spesimen dengan Perlakuan Tempering 250°C

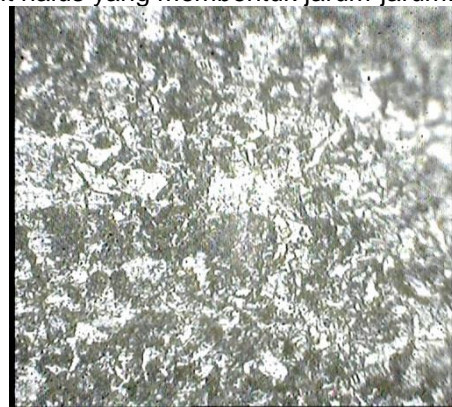
Pada tabel 5 diketahui bahwa nilai kekerasan rata-rata dari spesimen tanpa perlakuan *tempering* adalah 259,111 HVN. Kekerasan pada spesimen dengan *tempering* 250°C mengalami kenaikan yang signifikan setelah mengalami perlakuan panas.

Tabel 5. Nilai Kekerasan Spesimen dengan Perlakuan Tempering 250°C

Spesimen	Nilai Kekerasan (HVN)			Rata-rata
	1	2	3	
HV X ₂₄	255,8	277,0	240	257,53
HV X ₂₅	281,1	232,4	261,6	258,37
HV X ₂₆	266,6	249,8	267,9	261,43
Rata-rata				259,111

Struktur Mikro pada Perlakuan Tempering 250°C

Dilihat pada gambar 3 di bawah, bahwa pertambahan temperature pada perlakuan panas pada daerah HAZ terjadi sementit yang mulai membesar di banding pada *raw material*, namun daerah HAZ masih didominasi oleh perlit halus yang membentuk jarum-jarum.

**Gambar 3. Struktur Mikro Perlakuan Tempering 250°C dengan Perbesaran 400x****Spesimen Dengan Perlakuan Tempering 350°C**

Spesimen berikut mengalami proses *tempering* pada suhu 350°C. Spesimen di las dan didinginkan di udara kemudian mengalami perlakuan *tempering* dan yang terjadi adalah kekuatan dan kekerasannya meningkat dari temperatur *tempering* 250°C.

Nilai Kekuatan Tarik Spesimen dengan Perlakuan Tempering 350°C

Hasil uji tarik pada *tempering* suhu 350°C menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik sebesar 666,016 MPa atau setara dengan 67,914 kg/mm². Hasil ini mengalami kenaikan sebesar 24,282 MPa dari *tempering* pada suhu 250°C.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik dengan Perlakuan Tempering 350°C

No	Spesimen	Nilai Kekuatan Tarik (MPa)
1	X ₃₁	670.133
2	X ₃₂	657.570
3	X ₃₃	670.345
Rata-rata		666.016

Nilai Kekerasan Spesimen dengan Perlakuan Tempering 350°C

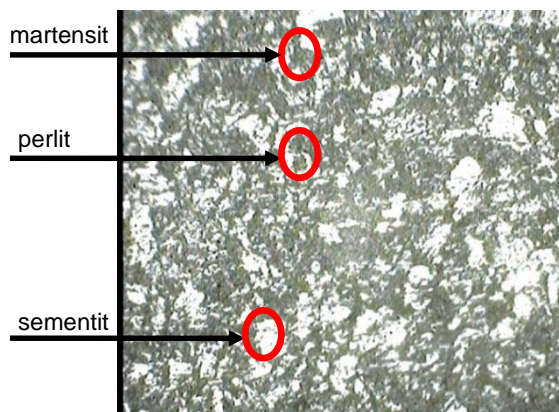
Dari tabel 7 diketahui bahwa nilai kekerasan rata-rata dari spesimen perlakuan *tempering* 350°C adalah 267,6 HVN. Kekerasan pada spesimen dengan *tempering* 350°C dibanding dengan *tempering* 250°C mengalami kenaikan sebesar 8,5 HVN. Kenaikan ini sangat kecil apabila dibandingkan pada kenaikan *raw material* dengan suhu *tempering* 250°C.

Tabel 7. Nilai Kekerasan Spesimen dengan Perlakuan Tempering 350°C

Spesimen	Nilai Kekerasan (HVN)			Rata-rata
	1	2	3	
HV X ₃₄	267,9	274,3	282,4	274,8
HV X ₃₅	269,2	266,6	261,6	265,8
HV X ₃₆	261,9	269,2	255,6	262,2
Rata-rata				267,6

Struktur Mikro pada Perlakuan Tempering 350°C

Pada struktur ini pun dapat dilihat bahwa martensit mulai banyak terlihat. Sementit pun mulai terlihat besar-besar. Perlit pun mulai terlihat jarang karena mulai berubah fasa menjadi martensit.



Gambar 4. Struktur Mikro Perlakuan Tempering 350°C dengan Perbesaran 400x

Spesimen Dengan Perlakuan Tempering 500°C

Spesimen berikut mengalami proses *tempering* pada suhu 500°C. Spesimen di las dan didinginkan di udara kemudian mengalami perlakuan *tempering* dan yang terjadi adalah kekuatan dan kekerasannya bernilai paling tinggi dari perlakuan *tempering* 250°C dan 350°C.

Nilai Kekuatan Tarik Spesimen dengan Perlakuan Tempering 500°C

Dilihat pada tabel 8 hasil rata-rata kekuatan tarik pada perlakuan *tempering* 500°C adalah 680.495 MPa atau setara dengan 69,39 kg/mm². Hasil ini merupakan hasil *tempering* yang paling tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan lain. Jika dibandingkan dengan *raw material* maka ada kenaikan kekuatan tarik sebesar 96.847 Mpa.

Tabel 8. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik dengan Perlakuan Tempering 500°C

No	Spesimen	Nilai Kekuatan Tarik (MPa)
1	X ₄₁	671.447
2	X ₄₂	684.769
3	X ₄₃	685.268
Rata-rata		680.495

Nilai Kekerasan Spesimen dengan Perlakuan Tempering 500°C

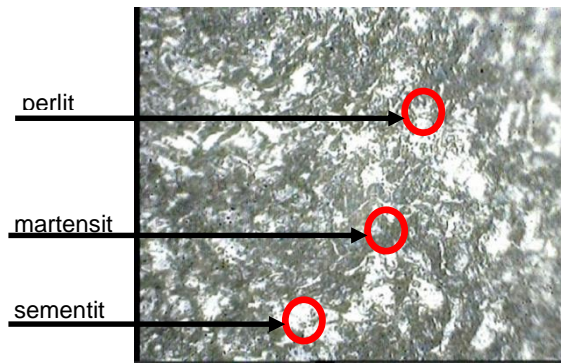
Pada tabel 9 diketahui bahwa nilai kekerasan rata-rata dari spesimen dengan perlakuan *tempering* 500°C adalah 284,87 HVN. Kekerasan pada spesimen dengan *tempering* 500°C mengalami kenaikan yang 52,04 HVN.

Tabel 9. Nilai Kekerasan Spesimen dengan Perlakuan Tempering 500°C

Spesimen	Nilai Kekerasan (HVN)			Rata-rata
	1	2	3	
HV X ₄₄	290,9	295,3	309,0	298,4
HV X ₄₅	266,6	275,7	279,7	274
HV X ₄₆	278,3	271,7	296,7	282,23
Rata-rata				284,87

Struktur Mikro pada Perlakuan Tempering 500°C

Dapat dilihat pada gambar 5, struktur sementit dan martensit lebih mendominasi pada daerah HAZ. Perlit pun mulai terlihat lebih sedikit lagi pada *tempering* temperatur ini.



Gambar 5. Struktur Mikro pada Perlakuan Tempering 500°C dengan Perbesaran 400x

Analisis Statistik pada Kekuatan Tarik

Berdasarkan hasil uji Kolmogorov-Smirnov menunjukkan bahwa nilai Asymp.Sig.(2-tailed) adalah sebesar 0,884. Nilai ini lebih besar dari 0,05 sehingga dapat diambil keputusan bahwa H_0 yang menyatakan populasi adalah normal tidak ditolak. Dengan kata lain, populasi data yang telah diuji berdistribusi normal dan asumsi yang digunakan pada pengujian anova yaitu populasi yang akan diuji berdistribusi normal sudah terpenuhi.

Hasil uji homogenitas menggunakan uji Levene. Nilai Levene F hitung sebesar 4,330 dengan nilai probabilitas 0,069. Karena nilai probabilitas $>$ dari 0,05, maka H_0 tidak ditolak yaitu ketiga varians populasi adalah identik atau sama. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi.

Tabel 10. Data Anova Tempering terhadap Tingkat Kekuatan Tarik Baja St.60

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2315.277	2	1157.639	6.079	.036
Within Groups	1142.664	6	190.444		
Total	3457.941	8			

Analisis Statistik pada Kekerasan

Berdasarkan hasil uji Kolmogorov-Smirnov menunjukkan bahwa nilai Asymp.Sig.(2-tailed) adalah sebesar 0,893. Nilai ini lebih besar dari 0,05 sehingga dapat diambil keputusan bahwa H_0 yang menyatakan populasi adalah normal tidak ditolak. Dengan kata lain, populasi data yang telah diuji berdistribusi normal dan asumsi yang digunakan pada pengujian anova yaitu populasi yang akan diuji berdistribusi normal sudah terpenuhi.

Hasil uji homogenitas menggunakan uji Levene. Nilai Levene F hitung sebesar 3,079 dengan nilai probabilitas 0,065. Karena nilai probabilitas $>$ dari 0,05, maka H_0 tidak ditolak yaitu ketiga varians populasi adalah identik atau sama. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi.

Tabel 11. Data Anova Tempering terhadap Tingkat Kekerasan Baja St.60

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3103.512	2	1551.756	9.005	.001
Within Groups	4135.504	24	172.313		
Total	7239.016	26			

Terlihat bahwa F hitung adalah 9,005 dengan probabilitas 0,001. Karena probabilitas $<$ 0,05, maka H_0 yang menyatakan ketiga rata-rata populasi adalah identik ditolak dan H_a tidak ditolak. Dengan kata lain nilai rata-rata kekerasan pada baja St.60 setelah mengalami proses tempering dengan variasi temperatur 250°C, 350°C, dan 500°C tersebut berbeda.

Hasil penelitian ini berbanding terbalik dengan teori yang ada bahwa tempering akan menurunkan kekuatan tarik dan kekerasan sehingga keuletan akan meningkat. Namun, penelitian ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wahyudi (2007:66) bahwa semakin tinggi suhu tempering yang dipakai maka hasil kekuatan tariknya semakin tinggi pula.

Terjadinya temper *brittleness*, yaitu turunnya ketangguhan impact dan naiknya kekuatan tarik karena terjadinya presipitasi suatu fase dari kristal ferrit. Temper *brittleness* sering terjadi pada baja dengan karbon yang relatif tinggi. Tampaknya kandungan chrom, nikel, mangaan, dan phosphor mendorong terjadinya kecenderungan untuk mengalami temper *brittleness*. Sedang untuk menghindari terjadinya temper *brittleness* dapat dilakukan dengan mempercepat pendinginan setelah tempering (Suherman,1988:50).

Adanya *phosphor* pada baja-baja teknik sangat dihindari mengingat inhomogenitas struktur yang disebabkan, dimana hal ini juga akan mengakibatkan perbedaan kekerasan, kekuatan maupun keuletan. Perbedaan kekuatan dan keuletan pada struktur mikro akan menimbulkan tegangan dalam yang besar yang akhirnya mengakibatkan terjadinya keretakan.

Phosphor juga menjadi penyebab perapuhan baja pada keadaan dingin yang ditunjukkan dengan peningkatan kekuatan namun dengan demikian menurunkan mampu takiknya setelah perlakuan tempering. Phosphor dalam baja karbon akan mengakibatkan kerapuhan dalam keadaan dingin. Semakin besar prosentase phosphor semakin tinggi batas tegangan tariknya, tetapi *impact strength* dan *ductility* turun. Prosentase phosphor pada baja paling tinggi 0.08%, tetapi pada baja karbon rendah prosentasenya 0,15–0,20%.

Telah dijelaskan bahwa baja yang dikeraskan akan melunak dengan pemanasan kembali (tempering). Makin tinggi temperatur tempering makin banyak penurunan kekerasan yang terjadi. Secara umum dapat dikatakan bahwa semua unsur paduan menghambat laju penurunan kekerasan karena tempering. Jadi adanya unsur paduan akan menaikkan temperatur tempering untuk mencapai suatu kekerasan tertentu. Unsur-unsur yang mudah larut dalam ferrit, unsur yang tidak membentuk karbida, seperti Ni, Si, dan juga Mn pengaruhnya kecil sekali.

Unsur pembentuk karbida mempunyai pengaruh yang lebih kuat, apalagi unsur pembentuk karbida kompleks, seperti Cr, W, Mo, dan V pengaruhnya kuat sekali. Bukan saja akan menghambat laju penurunan kekerasan, bahkan bila terdapat dalam jumlah cukup besar dapat memberi kenaikan kekerasan dengan tempering pada temperatur tertentu, dikenal sebagai secondary hardness (Suherman, 1988:77).

Amstead dalam Wahyudi (2007:64) menyatakan bahwa, unsur paduan mempunyai pengaruh yang berarti atas temper, pengaruhnya menghambat laju pelunakan sehingga baja paduan akan memerlukan suhu temper yang lebih tinggi untuk mencapai kekerasan tertentu, Pada proses temper perlu diperhatikan suhu maupun waktu.

Diperlukannya proses pengerasan sebelum dilakukan tempering. Misalnya pengelasannya didinginkan oleh air garam atau air agar hasil pengelasan lebih mengeras lagi untuk kemudian diturunkan kekerasannya melalui tempering untuk mengurangi tegangan dalam pada spesimen.

Pembahasan dari data di atas dapat disimpulkan bahwa variabel lain berpengaruh secara signifikan terhadap variabel terikat, hal ini diperkuat lagi dengan melihat hasil dari analisis one way anova yang telah disajikan. Sehingga dapat ditarik kesimpulan akhir yaitu

ada pengaruh variasi temperatur tempering terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada pengelasan baja St. 60.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah disajikan di depan, kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah semakin tinggi temperatur tempering maka kekuatan tariknya pun meningkat, hal ini sejalan dengan semakin tinggi temperatur tempering maka kekerasaannya pun meningkat

Pada struktur mikro diperoleh data bahwa semakin tinggi temperatur tempering maka struktur sementit yang berhubungan dengan kekerasan bahan akan semakin terlihat membesar, sedangkan struktur martensit terlihat semakin besar bentuk lempengan atau bola-bolanya, hal inilah yang menyebabkan kekerasan semakin meningkat, sehingga kekuatannya pun ikut meningkat.

Hasil yang berbeda dari teori tidak hanya dikarenakan proses pemanasan awal yang kurang dari temperatur batas pemanasan austenite yaitu 723°C namun juga kandungan lain yang terdapat pada baja.

Saran yang diberikan adalah untuk menghasilkan penelitian yang baik, perlu diadakannya penelitian lanjutan dengan kadar karbon sedang namun dengan variasi temperatur yang lebih tinggi sehingga dapat melengkapi hasil yang didapat pada penelitian ini. Untuk mendapatkan hasil yang sempurna perlu diadakannya penelitian lanjut yang mengontrol semua variabel yang berpengaruh, seperti kandungan lain pada baja St.60, pendingin yang digunakan dan suhu yang digunakan pada proses *quenching*.

Apabila baja yang telah dilas mengalami penurunan kekuatan atau kekerasan, maka dapat dilakukan proses tempering untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang baik.

REFERENSI

- Abdunnaser & Sumiyanto. 2011. *Pengaruh Proses Hardening dan Tempering terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Baja Karbon Sedang Jenis SNCM*. Skripsi tidak diterbitkan. Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- Alip, M. 1989. *Teori dan Praktek Las*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Amstead B.H., Ostwald P.F., & Begeman M.L. dan Sriati Dj. 1995. *Teknologi Mekanik edisi ketujuh*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Beumer, B.J.M. 1985. *Ilmu Bahan Logam*. Jakarta: Bharata Karya Aksara.

- Daryanto. 2006. *Ilmu Logam*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Khasanah, Nur. 2010. *Penentuan Kelayakan Material Pipa Elbow Local Content sebagai Pengganti Pipa Elbow GE N879 pada Lokomotif Kereta Api CC204 di PT. Industri Kereta Api (Persero)*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ghozali, Imam. 2006. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro
- Kurniawan, David. 2009. *Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam dalam Larutan Air Pencelup pada Proses Quenching Baja St.60 terhadap Kekerasan dalam Meningkatkan Kualitas Baja*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang.
- Metallurgy Of Carbon Steel.
<http://www.gowelding.com/met/carbon.htm>
m. Diakses pada 10 Agustus 2012
- Minato-ku. 1979. *JIS Handbook*. Jepang: Japanese Standards Association.
- Sri, Widharto. 2003. *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R & D*. Bandung: Alfabeta.
- Suherman, Wahid. 1988. *Ilmu Logam*. Surabaya: Institut Teknologi Nasional.
- Tim Pengajar Metalurgi. 1992. *DIKTAT Petunjuk Praktikum Logam*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Wiryosumarto, Harsini & Toshie Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Zainuri, A. Muhib. 2008. *Kekuatan Bahan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.